

# 箱根火山周辺における地震計アレイの設置について ～深部低周波地震の高精度の震源決定～

藤松淳・本多亮

(神奈川県温泉地学研究所)

## ■ はじめに

近年、火山体の地下深部で発生する深部低周波地震が注目されています。箱根火山では、噴火が発生した 2015 年をはじめ、山体膨張や浅部の群発地震活動が活発化する時期に深部低周波地震が増加することがわかってきました。今回、箱根火山における深部低周波地震の実像に迫るため、発生している場所（震源）を高い精度で決めるための地震計を約 90 点設置しました。ここでは、その概要について紹介します。

## ■ 箱根火山で発生する深部低周波地震

深部低周波地震は、以前から多くの活火山の地下で発生していることがわかっており、マグマなどの流体に深く係わって発生していると考えられてきましたが、噴火や浅部の火山活動と関連付けられた事例はごくわずかでした。しかし、より検知力の高い検出方法を用いた最近の国内外の研究により、噴火や浅部の火山活動に先行して深部低周波地震の活動が活発化する事例がいくつも報告されるようになりました。箱根火山でも、当所の行竹主任研究員（現・東京大学地震研究所准教授）の研究により、山体の膨張や浅部の群発地震活動が活発化する時期に、深部低周波地震が増加することがわかりました。（<https://www.onken.odawara.kanagawa.jp/volcano-geology/20200716-01.html>）

一方で、その発生メカニズム、マグマ活動とどのように関連している

かはよくわかっていません。これらを明らかにするためのアプローチの一つとして、深部低周波地震の震源を高い精度で決めるということが考えられます。深部低周波地震は規模が小さく、また、通常の地震よりもゆっくりとした波を発するため、観測点に記録される地震波の立ち上が

りが不明瞭で、通常の震源決定方法では精度よく震源を決めることができません。気象庁一元化カタログによると、箱根火山の深部低周波地震の震源は、外輪山北側の深さ 25km 付近を中心に、深さ方向、水平方向ともに 10km ほどの拡がりをもって決まっています（図 1）。この深

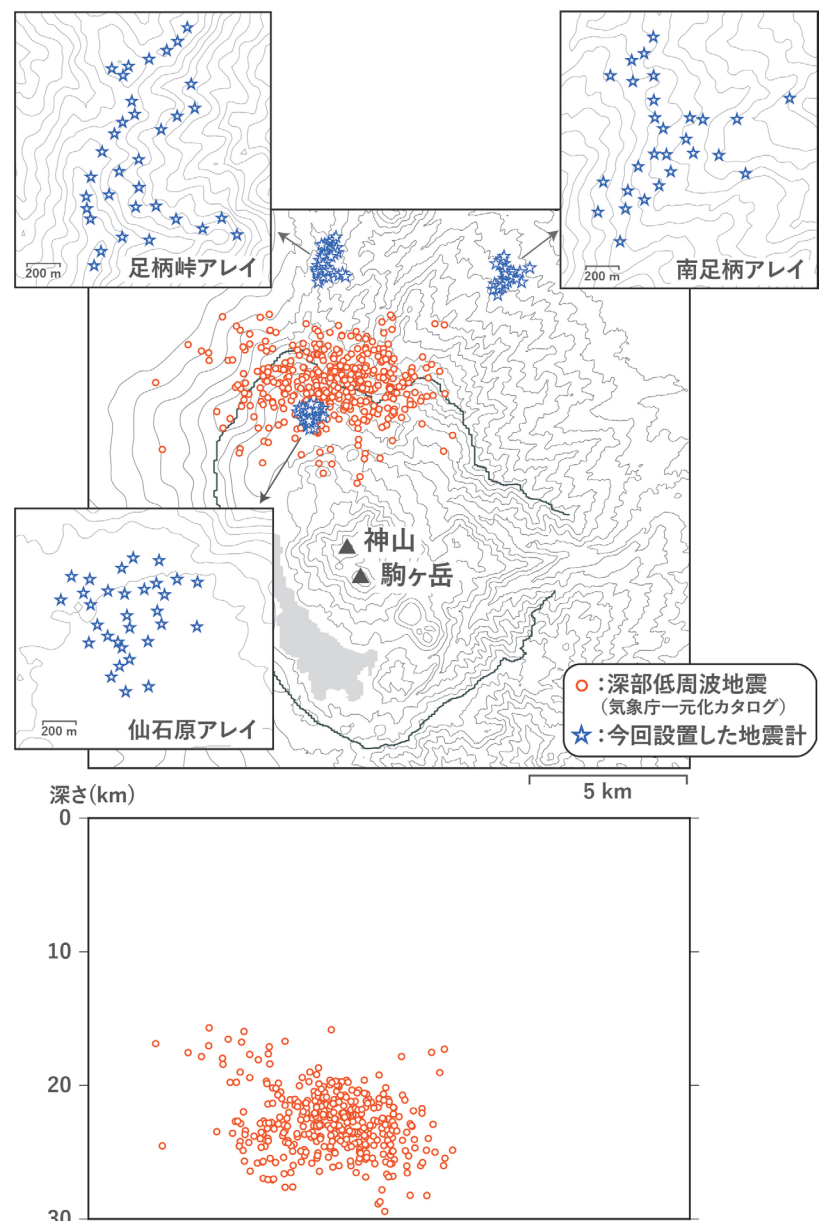


図 1 箱根火山における深部低周波地震の震源分布と設置した地震計の配置



部低周波地震の震源をより高い精度で決めることにより、自然地震による探査等で徐々に明らかになりつつある箱根火山の地下構造と高精度の震源を対比することで、その発生メカニズムの解明に迫れるのではないかと考えています。

## ■ 地震計アレイの設置

深部低周波地震の高精度の震源決定を目的として、2020（令和2）年から4年間の予定で、東京大学地震研究所、産業技術総合研究所と共同研究を実施することにしました。今回の共同研究では、アレイ観測と呼ばれる手法で震源決定を行います。アレイ観測は、地震計を適当な間隔において規則的に配置して行う観測で、深部低周波地震の震源から放出される地震波により、アレイ内の各地震計にはよく似た波形が時刻がわずかにズレて記録されます。この地震波の到着時刻の差から地震波の到来方向や見掛け速度、震源を推定することができます。さらに、このようなアレイを複数のエリアに設置することで、より高い精度で震源を決定することが可能になります。

2020年11月に、箱根カルデラ北側の深部低周波地震の発生領域を取り囲む3つのエリアに、それぞれ約30点からなる地震計アレイを設置しました（図1）。設置した地震計を写真1、2に、また、地震計の種類や機器の設定等を表1に示します。本研究としては、上下、東西、南北の3つの成分の揺れを観測できる地震計が望ましいのですが、用意に限りがあるため、各アレイのうち5か所程度ずつ3成分の地震計を用いるほかは、上下方向の揺れのみを観測する地震計を用いてアレイを構築しました。地震計センサーは、付近の状況に応じて設置方法を選択し、コンクリートなどへの接着、地盤が

固く安定した場所では地表面に設置、地盤が柔らかい場所では数十 cm 穴を掘って埋設しました。電源はバッテリーもしくは乾電池です。データを収録する機器には携帯電話回線を利用した通信機能もありますが、で

きるだけ電源を持たせるために通信機能は OFF にして現地収録としました。それでも3成分の地震計は半年、単成分の地震計は1年ほどで電源が切れる計算で、半年から1年に1度の頻度で電源交換のための



写真1 地震計の設置例

道路沿いでは路肩に地震計センサーを接着しました。地震計センサー以外の機器は全てプラスチック製箱に収納し、湿気対策のためビニール袋で梱包しました。



写真2 地震計の設置例

地盤が柔らかい場所では、数十 cm 穴を掘って地震計センサーを埋設しました。



作業が必要になります。地震計のセンサー以外の機材（電源、データ収録機器、時刻校正用 GPS アンテナ）は、全てプラスチック製の箱に緩衝材、除湿剤、防虫剤とともに収納し、湿気が入らないよう箱をビニール袋に入れました。箱を入れたビニール袋には地震の観測機器であることと連絡先を記載した札を貼り付け、最後に、周囲に木製の杭を打ち、杭と箱をひもで縛ってしっかりと固定しました。

### ■ 野生動物による被害と対策

地震計を設置して1ヶ月ほど経過した頃から、「箱が動かされている」「箱がひっくり返ってビニール袋が破けている」さらには「バラバラになっている」といった情報が立て続けに寄せられるようになりました。その度に祈る思いで現地に向かいましたが、残念ながら、いずれも寄せられた情報のとおりの光景を目にすることになりました（写真3）。地震計が浮いてしまったり、信号ケーブルの断線、収納ボックスの破損、バッテリーの液漏れなどがみられたところでは機材の再設置が必要になりました。周辺住民や施設管理者の方の情報と被害の状況から判断すると、周辺に生息するイノシシをはじめとする野生動物の所業と思われます。私たちの設置機材・設置方法では特にイノシシに狙われたらひとたまりもないということを実感しつつも、再設置にあたって次のような対策を施しました（写真4）。

- ・野生動物の通り道を避けて設置（足跡など地面に残された痕跡から判断）
- ・固定杭の増強
- ・木製柵の設置
- ・周囲を大きな石や丸太で囲む
- ・忌避剤、唐辛子の散布

表 1 設置した地震計及び機器の設定等

| 地震計アレイ          | 地震計                                                    | 電源、データ収録機器の設定等                                                                                                                                         |
|-----------------|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 仙石原<br>(計 31 点) | 3 成分 2 Hz 計：5 点<br>単成分 2 Hz 計：10 点<br>単成分 4.5Hz 計：16 点 | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 電源<br/>3 成分：バッテリー<br/>単成分：乾電池<br/>※半年～1 年程度稼働可能</li> <li>・ 現地で SD カードにデータ収録<br/>※電源を持たせるため通信機能 OFF</li> </ul> |
| 南足柄<br>(計 28 点) | 3 成分 2 Hz 計：5 点<br>単成分 2 Hz 計：10 点<br>単成分 4.5Hz 計：13 点 |                                                                                                                                                        |
| 足柄峠<br>(計 34 点) | 3 成分 2 Hz 計：6 点<br>単成分 2 Hz 計：9 点<br>単成分 4.5Hz 計：19 点  |                                                                                                                                                        |



写真 3 野生動物に襲われた観測点  
この観測点では、箱が破壊され収納した機器が周囲に散乱していました。



写真 4 野生動物への対策を施して再設置した観測点  
木製柵や丸太で周囲を囲み、周囲に忌避剤、唐辛子を散布しました。

・防獣ライトの設置（山中のみ）

仙石原地区の住民の方のお話しでは、イノシシは力がとても強く、物置きに車がぶつかったと思うような激しい音を聞くこともあり、また捕獲用の罠には掛からず周囲だけを荒らす賢さも持ち合わせているということでした。幸いにも再設置から2ヶ月ほどたった現時点で新たな被害の情報はありませんが、地震について調べる前に、周辺に生息している野生動物の生態について学ぶ必要があるのかもしれません。

## ■ おわりに

今回の地震計の設置期間は3年間で予定しています。この間に発生する深部低周波地震の震源を高い精度で決めることで、箱根火山における深部低周波地震の発生メカニズムの解明を目指します。

地震計は、箱根町、南足柄市の住宅や私有地、施設の敷地内、道路脇等に、許可をいただいて設置しました。箱根町、南足柄市の住民の方々をはじめ、県西地域総合センター森林部、箱根町、南足柄市、静岡県小山町、東京都港区などの関係自治体、

神奈川県立ふれあいの村、足柄森林公園丸太の森、星槎大学、箱根ラリック美術館、箱根湿生花園、箱根温泉供給株式会社には、本研究へのご理解、ご協力をいただき心より感謝申し上げます。また、周辺住民や登山者の方々からは、野生動物による被害についてご連絡をいただきました。ご協力いただいている全ての皆様に感謝申し上げます。

本研究は東京大学地震研究所共同利用（2020-G-14）およびJSPS科研費JP20K04118の助成を受けて実施したものです。